

## Utilizzo congiunto di tecniche e dati SAR con dati in situ nel progetto ASI MORFEO (MONitoraggio e Rischio da Frana mediante dati EO)

C. Abbattista (\*), R. Nutricato (\*\*), D. O. Nitti (\*\*\*), G. Ober (\*\*\*\*), L. Candela (\*\*\*\*\*)

(\*) Planetek Italia srl, Via Massaua 12, I-70123 Bari, Italy, tel. 080 9644200, E-mail [abbattista@planetek.it](mailto:abbattista@planetek.it)

(\*\*) GAP srl, c/o Dipartimento Interateneo di Fisica, Politecnico di Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy  
tel.+39 080 5443144 E-mail [raffaele.nutricato@gapsrl.eu](mailto:raffaele.nutricato@gapsrl.eu)

(\*\*\*) Dipartimento Interateneo di Fisica, Politecnico di Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy  
tel.+39 080 5443144 E-mail [davide.nitti@fisica.uniba.it](mailto:davide.nitti@fisica.uniba.it)

(\*\*\*\*) Carlo Gavazzi Space SpA, Via Gallarate, 150 20151 Milano, Italy tel. +39 02 380481, E-mail [gober@cgspace.it](mailto:gober@cgspace.it)

(\*\*\*\*\*) Agenzia Spaziale Italiana, Centro di Geodesia Spaziale 'Giuseppe Colombo', Località Terlecchia,  
75100 Matera (MT), Italy, tel. +39 0835 3779 E-mail [laura.candela@asi.it](mailto:laura.candela@asi.it)

### Riassunto

Il progetto triennale pilota MORFEO, commissionato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), realizza un sistema a supporto delle decisioni di protezione civile sul rischio frane. Tale sistema è basato sull'utilizzo di tecnologie e dati multi-missione di Osservazione della Terra, combinati con informazioni, dati e tecnologie tradizionali. MORFEO mette a disposizione del Dipartimento di Protezione Civile gli strumenti per l'*individuazione e mappatura delle frane, il monitoraggio delle frane, la valutazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana, la previsione e il preannuncio delle frane e la valutazione del danno da frana.*

Questo articolo descrive il sottosistema SAR di MORFEO, il cui scopo è quello di generare prodotti per la protezione civile grazie all'utilizzo congiunto delle tecnologie GPS, EO (Earth Observation) ottiche ed EO SAR (Synthetic Aperture Radar), attraverso innovative tecniche interferometriche.

Il sottosistema ha come input dati SAR, acquisiti in banda C, L o X, e produce, attraverso il processore SPINUA, mappe di deformazione del suolo composte da un insieme di punti sul terreno definiti *Persistent Scatterers* (PS). Tali mappe, combinate con le informazioni che si possono estrarre da dati EO Ottici e/o GPS rilevati in situ, generano prodotti di livello superiore come le mappe di copertura dei PS, le mappe di contesto, i prodotti statistici e le mappe di correlazione.

### Abstract

The three year MORFEO pilot project, commissioned by the Italian Space Agency (ASI), implements a Decision Support System for the Civil Protection about the Landslides Risk. The system is based on the use of multi-mission Earth Observation data combined with traditional in situ data and technologies. The project provides the Italian Civil Protection Department with some tools allowing the landslides identification and mapping, a better spatial and temporal forecast of the landslides and the monitoring of landslides movements at local, province or regional scale.

This paper describes the MORFEO SAR sub system, whose aim is to generate products for the civil protection thanks to the synergic use of GPS, optic EO and SAR (Synthetic Aperture Radar ) EO data, by the exploitation of new interferometric techniques.

The subsystem receives as inputs C, L and X band SAR data and by using the SPINUA processor produces warping maps as collections of *Persistent Scatterers* (PS) points. Combining those maps with Optic EO data and GPS data, is possible to generate high level products like PS coverage maps, contextual maps, statistical products and correlation maps.

## Introduzione

Le frane sono eventi naturali nell'evoluzione di un territorio, caratterizzati da una grande varietà fenomenologica (tipologia, dimensione, modalità, velocità, ...) e possono diventare un pericolo allorché interagiscano con la popolazione e l'ambiente antropico.

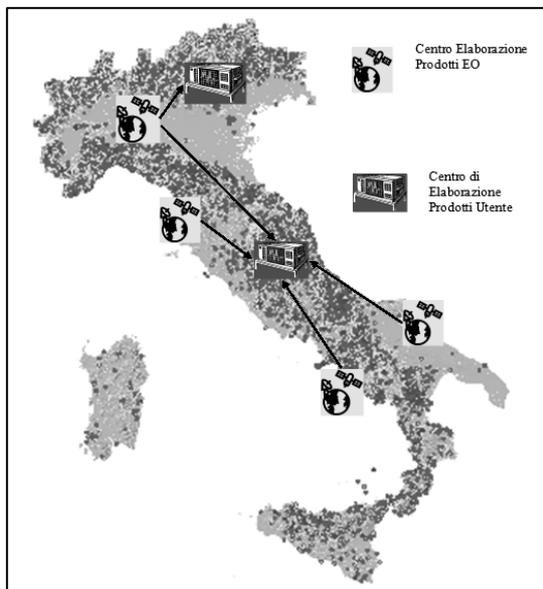
Tra le tecnologie di Earth Observation sia la tecnologia GPS (Global Positioning System) che la tecnologia DinSAR (Differential Interferometry SAR) hanno prodotto risultati innovativi e promettenti. I limiti della tecnologia GPS risiedono nella limitata copertura spaziale dei ricevitori GPS e nella limitata precisione della componente verticale delle misure, che è invece una misura rilevante per il monitoraggio di dissesti a cinematica lenta. Di converso il principale vantaggio della tecnologia DinSAR consiste in una visione geografica ad elevata copertura spaziale delle deformazioni, a scapito di una considerevolmente ridotta risoluzione temporale (dell'ordine di mesi).

Il progetto triennale pilota MORFEO, commissionato dall'ASI, realizza un sistema a supporto delle decisioni di protezione civile sul rischio frane. Il sistema è basato sull'utilizzo di tecnologie e dati multi-missione di Osservazione della Terra, insieme ad informazioni, dati e tecnologie tradizionali. Inoltre MORFEO ha anche un alto contenuto di ricerca e sperimentazione in quanto analizza ed individua il contributo dei dati e dei prodotti COSMO-SkyMed per il monitoraggio delle frane, con particolare riguardo al monitoraggio delle infrastrutture, così come il contributo che potranno dare i prodotti delle future missioni Pleiades e SAOCOM.

L'obiettivo di MORFEO è quello di mettere a disposizione dell'utente strumenti per *l'individuazione e mappatura delle frane, il monitoraggio delle frane, la valutazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana, la previsione e il preannuncio delle frane e la valutazione del danno da frana.*

Il consorzio guidato dalla Carlo Gavazzi Space (CGS) e sotto la responsabilità scientifica del Dott. Fausto Guzzetti (IRPI-CNR) è l'insieme di una esperta struttura industriale composta da Carlo Gavazzi Space, Planetek Italia, GAP e Merlino Servizi, e da una rilevante struttura scientifica composta da CNR IRPI di Perugia e Bari, CNR IFAC di Firenze, CNR IMAA di Potenza, CNR IREA di Milano e Napoli, CNR ISSIA di Bari, Politecnico di Bari, Politecnico di Milano, Università di Bologna, Università Federico II di Napoli, Università degli Studi di Milano Bicocca e Università degli Studi Di Trento.

MORFEO è un sistema distribuito costituito dalla "Rete MORFEO" i cui nodi (sottosistemi) cooperano alla realizzazione delle funzionalità richieste.



La collocazione geografica dei nodi è la seguente:

- S/S INFRASTRUTTURA  
Perugia-CNR-IRPI
- S/S Elaborazione prodotti utente Geotop-EO  
Trento-CUDAM
- S/S EO SAR PoliBA  
Bari-PoliBA & Planetek
- S/S Elaborazione prodotti EO ottici  
Firenze Milano-IFAC / CGS
- S/S Elaborazione prodotti utente IRPI  
Perugia-CNR-IRPI
- S/S Elaborazione prodotti utente UNIMIB  
Milano-Univ. Milano Bicocca (TBC)
- S/S Elaborazione prodotti EO SAR IREA  
Napoli-CNR-IREA

I risultati del progetto vengono verificati e dimostrati nelle seguenti aree di test:

- Regione Umbria - Umbria centro meridionale ed area di Collazzone
- Regione Lombardia - Alto Lario Occidentale, frana di Bindo, frana di Bedolessio, bacino del torrente S. Vincenzo
- Regione Trentino Alto Adige - bacino Avisio (Val di Fassa)
- Regione Basilicata - Alta Valle del fiume Basento

### **Il sottosistema SAR PoliBA di MORFEO**

L'obiettivo del sottosistema EO SAR è quello di generare prodotti di alto livello per la protezione civile grazie all'utilizzo congiunto delle tecnologie GPS, EO ottiche ed EO SAR (Synthetic Aperture Radar), attraverso tecniche interferometriche.

Gli input primari del S/S sono dati SAR (serie storiche di acquisizioni necessarie per l'elaborazione interferometrica) di tipo SLC acquisiti dalle missioni spaziali ERS 2 ed ENVISAT con sensore in banda C, mentre è prevista per le fasi successive del progetto lo sfruttamento dei dati provenienti dalle missioni COSMO-SkyMed (banda X), SAOCOM (banda L) e PALSAR (banda L).

### **Processing interferometrico**

**Input:** serie di acquisizioni storiche SAR, modello digitale del terreno

**Output:** serie di punti di deformazione ad alta coerenza (PS)

Il componente di processing interferometrico prende in input dati SAR di tipo SLC, acquisiti in banda C, L o X, per produrre mappe di deformazione del suolo composte da un insieme di punti sul terreno definiti *Persistent Scatterers* (PS). Esso è composto da due macro-blocchi: il "Processing Environment" e l'"Algorithm Provider".

### **Processing Environment**

Tale blocco fornisce i servizi di avvio, arresto e controllo (error handling, tracing e logging) delle attività di ciascun processamento. Attraverso tale blocco, inoltre, vengono invocate tutte le attività procedurali che sono indipendenti dalla tipologia di dato/sensore come la coregistrazione, la geocodifica, l'estrazione dei PS, ecc. Infine il Processing Environment consente ai vari processamenti di interfacciarsi all'Algorithm Provider per l'esecuzione dell'algoritmo di generazione PS più adeguato al dato in input.

### **Algorithm Provider**

Tale blocco gestisce tutti gli algoritmi di processamento del dato in input ai vari step di elaborazione. Esso integra nativamente la catena algoritmica SPINUA (Stable Points Identification in Non Urbanized Area) (Bovenga et al., 2004) progettata e sviluppata dal politecnico di Bari e attraverso un'interfaccia esterna è possibile aggiornare gli algoritmi, aggiungendo o sostituendo moduli. In questo modo è possibile gestire nuove sensori SAR, andando ad operare sui parametri specifici di ciascun modulo algoritmico.

Durante l'esecuzione del processing, tale blocco gestirà il workflow algoritmico più opportuno, a seconda dei dati in input e delle caratteristiche dei prodotti in output, fornendo inoltre il servizio di distribuzione delle attività di processing tra le risorse a disposizione e controllate dal modulo.

Infine l'algorithm provider fornisce servizi per il monitoraggio del processing: stato di avanzamento della elaborazione, messaggi di warning/errore, tempo stimato per concludere il lavoro.

### **Interfaccia Web Services**

L'esecuzione di ogni singolo processamento può essere gestita totalmente attraverso l'utilizzo di un'applicazione web che si interfaccia ai Web Services SOAP di gestione dei processi e dei relativi sotto-processamenti. Di seguito alcune schermate che mostrano come configurare, lanciare (pre-

processing e processing) e monitorare l'esecuzione dei processi remoti (quality check e processing status).



Figura 1 – Pagina web per il lancio di uno step del preprocessing (coregistrazione)



Figura 2 – Pagina web per il controllo remoto dello stato di uno specifico ID di processo

L'informazione in uscita dal componente di "processing interferometrico" è la mappa di deformazione, che, tra le altre cose, contiene al suo interno le posizioni geografiche dei vari PS estratti (lat, long) e la serie storica degli spostamenti lungo la direzione di osservazione del satellite (LoS – Line of Sight) per ogni scena SAR analizzata. Tali informazioni verranno prodotte con cadenza mensile e possono mostrare deformazioni dell'ordine dei millimetri.

I **vantaggi** nell'utilizzo di questa tecnologia risiedono nella possibilità di monitorare un territorio molto ampio con investimenti non eccessivamente onerosi, rilevare nuovi fenomeni franosi che potrebbero necessitare di un monitoraggio ulteriore e più dettagliato come quello che è possibile ottenere con la tecnologia GPS e, infine, scoperto un nuovo fenomeno franoso studiarne l'andamento nel passato, al fine di caratterizzarlo velocemente senza attese e grossi investimenti.

Un secondo prodotto è la Carta delle aree monitorabili che rappresenta le aree dove è possibile realizzare l'analisi interferometrica multi-temporale da cui ottenere le serie temporali di deformazione.

CODE	LONG	LAT	HEIGHT	V	STDEV	ACC	COHERENCE	VEL	D	20041019	D	20041228	D	20050308	D	20050517	D	20050621	D	20050726	D	20050830	D
1	1.524.612	5.102.054	252	0.05	0.00		0.78	0.00	0.17592	1.08557	0.07775	0.56189	0.33873	0.34332	0.35777								
2	1.524.471	5.102.022	244	0.04	0.00		0.87	0.00	-0.06421	0.01669	0.42970	0.44621	0.23603	0.25953	0.48926								
3	1.524.394	5.102.008	253	0.06	0.00		0.82	0.00	0.48480	0.44735	0.23099	0.43261	0.42390	0.46489	0.56882								
4	1.523.835	5.101.885	257	0.04	0.00		0.85	0.00	0.54352	-0.59961	0.35375	0.14326	0.73045	0.40082	-0.14069								
5	1.523.835	5.101.885	249	0.03	0.00		0.90	0.00	0.37729	0.18088	0.49507	0.13005	0.36049	0.28893	0.47149								
6	1.523.817	5.101.885	248	0.03	0.00		0.89	0.00	0.53954	0.11138	0.35452	0.31519	0.45790	0.14159	0.29315								
7	1.523.530	5.101.911	248	0.05	0.00		0.81	0.00	1.26664	0.56083	0.23759	-0.16900	-0.05137	0.08801	0.36523								
8	1.523.549	5.101.920	249	0.05	0.00		0.84	0.00	-0.58276	0.14817	0.05832	-0.18727	0.21314	0.05084	-0.04586								
9	1.523.866	5.102.046	253	0.04	0.00		0.82	-0.30	1.17407	1.29323	1.72292	0.69311	0.78432	0.12153	0.57589								
10	1.523.464	5.101.971	255	0.05	0.00		0.82	0.00	0.55200	0.63744	-0.12702	0.38706	0.09743	0.11801	0.26357								
11	1.523.468	5.101.972	248	0.04	0.00		0.86	0.00	0.03993	0.07637	-0.53302	0.18868	0.07719	-0.13158	0.09782								
12	1.523.464	5.101.975	255	0.04	0.00		0.85	0.00	0.54388	0.49647	0.04017	0.36515	0.12785	0.04057	0.27846								
13	1.523.468	5.101.976	248	0.04	0.00		0.87	0.00	0.49134	0.22655	-0.11481	0.45068	0.26525	0.04973	0.25760								
14	1.523.452	5.101.976	260	0.05	0.00		0.81	0.00	0.52493	0.25885	0.25908	0.26756	-0.30571	-0.03549	1.48944								
15	1.523.462	5.101.979	246	0.06	0.00		0.78	0.00	0.69379	0.63659	0.21931	0.39891	0.08384	0.15421	0.27534								
16	1.523.451	5.101.980	260	0.05	0.00		0.75	0.00	0.15133	0.72978	0.02727	0.43780	-0.82115	-0.14772	1.21089								
17	1.523.453	5.101.980	252	0.04	0.00		0.81	0.00	0.00220	0.18181	-0.55913	0.14721	0.05433	-0.66643	0.45397								
18	1.523.465	5.101.992	249	0.05	0.00		0.83	0.00	0.03847	-0.21369	-0.28466	0.21316	0.72769	-0.35341	0.10431								

Figura 3 – Mappa di deformazione. Per ogni acquisizione SAR (D\_yyymmdd) e per ogni PS rilevato (lat, long) viene rilevato lo spostamento (in millimetri) lungo la LoS del PS oltre ad altre informazioni qualitative del PS

### Integrazione e caratterizzazione dei PS

A partire dalle mappe di deformazione generate dal processing interferometrico, vengono generati prodotti di livello superiore attraverso l'integrazione e lo sfruttamento di dati EO Ottici, di dati GPS rilevati in situ e di dati ancillari utili alla caratterizzazione dei punti rilevati. Vengono così generate mappe di copertura dei PS, mappe di contesto, prodotti di tipo statistico e mappe di correlazione.

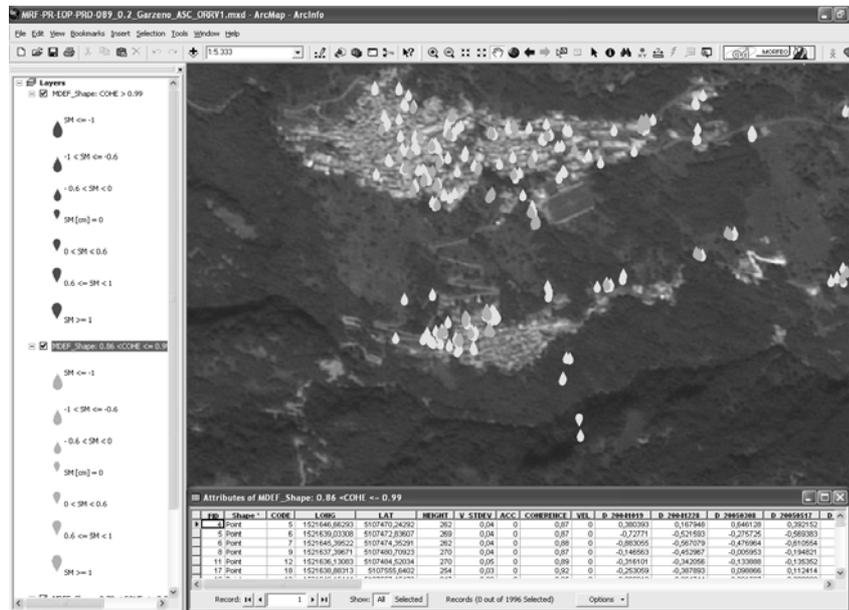
Tali strumenti possono sia essere richiamati in maniera automatica dalla catena di processamento di MORFEO che essere utilizzati in maniera manuale dall'operatore (utilizzabili come Toolbox di

ArcGIS) che potrà decidere in maniera personalizzata sia gli strati informativi da consultare che le tematizzazioni da applicare. Pertanto il risultato finale può essere sia una mappa da stampare che un progetto in formato ESRI mxd ulteriormente modificabile.

### Tool di contestualizzazione dei PS

**Input:** mappe di deformazione (output del processing interferometrico), layer vettoriali e raster di riferimento e contesto

Attraverso tali strumenti GIS vengono generate mappe che vanno a contestualizzare i dati di



osservazione degli spostamenti (PS, misurazioni strumentali e dati GPS) attraverso l'integrazione di immagini ottiche ad alta risoluzione dell'area che possano fornire un riferimento efficace dell'informazione stessa.

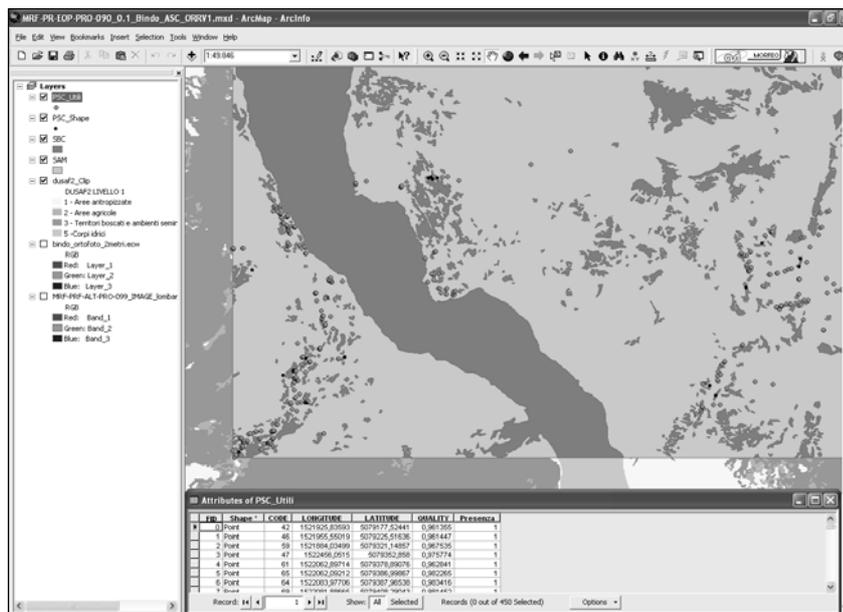
I PS vengono tematizzati in base all'intensità dello spostamento medio nel periodo d'osservazione e alla coerenza del dato interferometrico. Inoltre è anche possibile sovrapporre le infrastrutture che insistono su tale territorio, i confini amministrativi, l'uso del

suolo ed ogni altro tipo di layer vettoriale e/o raster utile all'analisi del rischio frane per l'area di indagine.

### Tool di analisi geometrica dei PS

**Input:** Carta delle aree monitorabili (output del processing interferometrico)

Attraverso questa seconda classe strumenti è possibile produrre una mappa di copertura e distribuzione dei PS fondendo l'informazione geometrica della ripresa SAR con quella interferometrica.



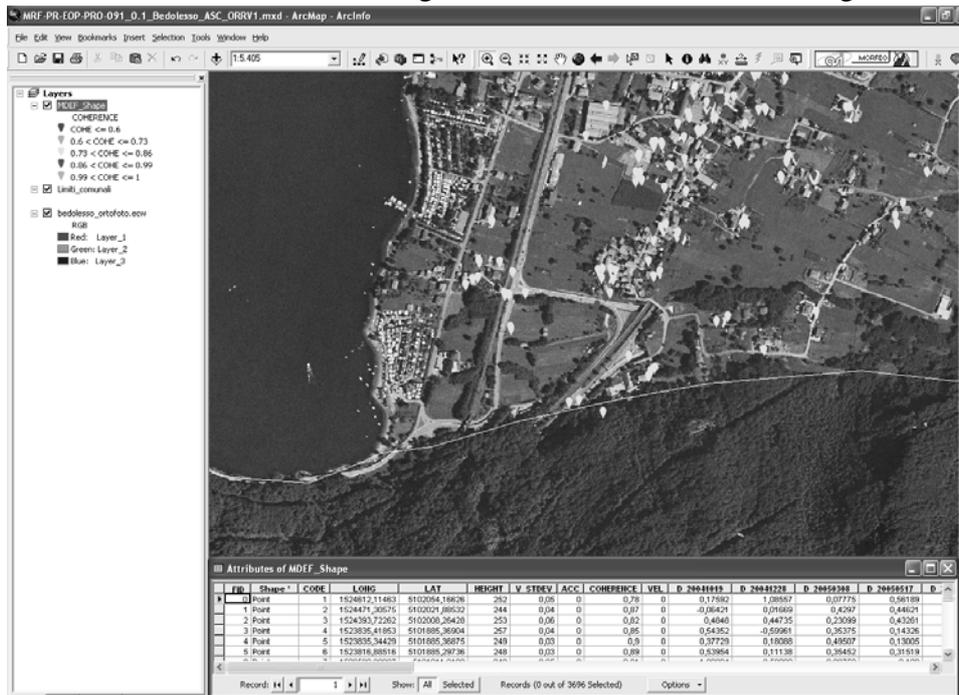
La mappa di copertura PS rappresenta il prodotto delle zone ad alta coerenza SAR dove è possibile misurare la deformazione e quindi è possibile ottenere dei PS con le caratteristiche geografiche, ambientali e antropiche dell'area indagata che sono di supporto alla caratterizzazione qualitativa dei PS rilevabili. Attraverso l'analisi di questi prodotti l'operatore può individuare tutte le zone in cui è difficile o impossibile ottenere dei PS, determinando quindi la necessità di prediligere

differenti tecnologie di monitoraggio piuttosto che fare affidamento sulla disponibilità nel tempo di PS.

## **Tool per la caratterizzazione statistica dei PS**

**Input:** mappe di deformazione (output del processing interferometrico), poligoni IFFI, breakline, misurazioni GPS, poligoni di raggruppamento decisi dall'utente

Gli strumenti per la caratterizzazione statistica dei PS sono funzionali alla valutazione della situazione in corso e delle possibili evoluzioni. Infatti, i prodotti ottenibili, forniscono, a partire dalle misure di spostamento rilevate con le diverse metodologie, dati di analisi raggruppati per insiemi di punti di osservazione definiti dall'utente (poligoni IFFI ad esempio) o aggregati in maniera automatica secondo algoritmi di analisi della morfologia e della idrografia del territorio (utilizzo delle breakline).



Gli strumenti di base previsti permettono un'analisi standard dei dati, attraverso la determinazione di parametri statistici significativi come la media e la deviazione standard delle serie storiche associate a ciascun PS, la densità media dei PS per unità di area e il trend medio di variazione per gruppi di PS.

Attraverso ulteriori funzioni specifiche, sarà invece possibile l'import di osservazioni PS elaborati esternamente al progetto, l'analisi di correlazione spazio-temporale tra dati misurati a terra e dati interferometrici e la selezione/filtro dei dati in funzione di query spaziali e/o temporali.

Infine un ulteriore prodotto è quello che determina il grado di correlazione esistente tra misurazioni ottenute con differenti metodologie come possono essere quelle GPS e SAR.

## **Conclusioni e risultati**

Attraverso gli sviluppi del progetto Morfeo, i risultati di una innovativa e sperimentale tecnica interferometrica sono stati trasformati in strumenti e prodotti operativi, attraverso i quali la Protezione Civile Italiana potrà aumentare il livello di monitoraggio, controllo e prevenzione dei fenomeni franosi. Infatti solo attraverso la tecnologia satellitare è possibile avere un quadro complessivo e soprattutto aggiornato del territorio nazionale grazie al quale poter decidere di avviare campagne di monitoraggio più spinte nei casi particolarmente importanti.

## **Riferimenti bibliografici**

F. Bovenga, A. Refice, R. Nutricato, L. Guerriero, M.T. Chiaradia (2004)

“SPINUA: a flexible processing chain for ERS / ENVISAT long term interferometry”

Proceedings of ESA-ENVISAT Symposium, 6-10 September, 2004, Salzburg, Austria

## **Sito Web**

<http://www.morfeoproject.it/index.php>